



## KAJIAN KINERJA PENGHAWAAN ALAMI PADA RUMAH TINGGAL TROPIS DENGAN SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (STUDI KASUS: RUMAH HEINZ FRICK SEMARANG)

Hari Utama<sup>1</sup>, Fisa Savanti<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Arsitektur Universitas Negeri Semarang  
E-mail: hariutama@mail.unnes.ac.id

### Informasi Naskah:

Diterima:  
13 Maret 2025

Direvisi:  
5 April 2025

Disetujui terbit:  
2 Juni 2025

Diterbitkan:  
Cetak:  
29 Juni 2025

Online  
29 Juni 2025

**Abstract:** Residential buildings play a vital role in daily human life as spaces for rest and personal development. However, the trend of mass housing development with uniform types and designs often overlooks environmental considerations. In fact, in Indonesia's humid tropical climate—characterized by warm temperatures, high humidity, and low wind speeds—residential houses must be carefully designed to ensure thermal comfort for occupants. One key factor is the performance of natural ventilation, which ensures adequate air exchange within the building. This study adopts manual measurement techniques and computer simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD) to assess the natural ventilation performance of a residential building in a humid tropical climate, with the Heinz Frick House in Semarang as the case study. Three aspects of natural ventilation performance are examined: (i) comparison between opening dimensions and façade area based on applicable standards; (ii) analysis of indoor airflow velocity in relation to comfort thresholds; and (iii) spatial distribution of airflow to identify comfort zones. The results show that the natural ventilation performance of the Heinz Frick House is relatively good. Nevertheless, several design adjustments, particularly regarding building openings, are necessary to further optimize ventilation performance.

**Keyword:** Airflow, Building Performance, Computational Fluid Dynamics, Cross Ventilation, Natural Ventilation

**Abstrak:** Rumah tinggal merupakan jenis bangunan yang sangat penting bagi kehidupan manusia sehari-hari karena berfungsi sebagai tempat istirahat dan mengembangkan diri. Tren pembangunan rumah massal dengan tipe dan desain yang serupa seringkali mengabaikan pertimbangan lingkungan. Padahal sebagai sebuah bangunan di iklim tropis lembab Indonesia dengan karakter lingkungan yang bersuhu hangat, kelembaban udara tinggi, dan kecepatan udara rendah, rumah harus didesain sedemikian rupa supaya dapat menciptakan kenyamanan bagi penghuninya. Salah satu faktor yang penting adalah terkait kinerja penghawaan alami demi memastikan terjadinya pertukaran udara yang cukup pada bangunan. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode pengukuran manual serta simulasi komputer terkait Computational Fluid Dynamics (CFD). Penelitian ini ingin melakukan kajian kinerja penghawaan alami pada bangunan rumah tinggal iklim tropis lembab dengan studi kasus Rumah Heinz Frick Semarang. Terdapat tiga kajian analisis data terkait kinerja penghawaan alami yang meliputi: (i) Membandingkan dimensi bukaan terhadap luas fasad sesuai standar; (ii) Analisis kecepatan aliran udara di dalam ruang berdasarkan standar; dan (iii) Profil persebaran aliran udara yang nyaman dalam ruang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja penghawaan alami Rumah Heinz Frick Semarang tergolong cukup baik. Namun perlu dilakukan beberapa perbaikan desain, terutama terkait bukaan bangunan, supaya kinerja penghawaan alami bangunan menjadi lebih optimal.

**Kata Kunci:** Aliran Udara, Computational Fluid Dynamics, Kinerja Bangunan, Penghawaan Alami, Ventilasi Silang

### PENDAHULUAN

Rumah merupakan kebutuhan primer manusia, terutama sebagai tempat untuk beristirahat. Di dalam rumah, manusia dapat berlindung dari ancaman lingkungan luar, menikmati kehidupan, dan berbagi suka cita bersama keluarga (Frick dan Mulyani, 2006). Untuk dapat menjadi tempat pengembangan diri, rumah harus dapat memberikan kenyamanan

bagi penghuni. Mangunwijaya (2013) mengemukakan bahwa rumah sebagai sebuah bangunan harus memiliki guna, salah satunya terkait menciptakan rasa nyaman bagi penghuni.

Indikator bangunan rumah yang nyaman dapat dilihat dari kualitas lingkungan ruang dalamnya (*indoor environment quality*, IEQ). Salah satu faktor penting yang berpengaruh terhadap IEQ adalah kualitas

udara dalam ruang (*indoor air quality*, IAQ) (Al horr, dkk., 2016). Untuk mencapai IEQ dan IAQ yang baik, maka bangunan rumah harus dapat merespon kondisi lingkungan setempat, khususnya berkaitan dengan pergerakan udara yang akan memastikan terciptanya pergantian udara dalam bangunan secara berkala.

Pembangunan rumah di Indonesia terus mengalami pertumbuhan. Menurut Danareksa Research Institute (2022), pertumbuhan penjualan rumah pada Q2 tahun 2022 mencapai 11,5%. Sebagian besar pertumbuhan ini disumbangkan oleh pembangunan rumah masal dari developer perumahan. Karena sifatnya yang masal, perencanaan dan pembangunan rumah-rumah ini dibuat seragam tanpa memerhatikan kondisi lingkungan yang spesifik. Hal ini seringkali memunculkan permasalahan kenyamanan yang merupakan salah satu faktor dari guna bangunan.

Secara umum, karakter lingkungan tropis lembab Indonesia memiliki suhu udara yang relatif hangat, kecepatan angin rendah, dan kelembaban udara yang tinggi. Kondisi ini, terutama akibat faktor kecepatan angin yang rendah, menyebabkan kenyamanan termal dalam bangunan melalui ventilasi silang menjadi sulit diwujudkan (Satwiko, 2008).

Rumah Heinz Frick merupakan sebuah bangunan rumah tinggal yang dibangun pada akhir 1990-an. Didesain sedemikian rupa oleh pemiliknya supaya bisa merespon kondisi lingkungan setempat, bangunan ini menjadi laboratorium bangunan rumah tinggal tropis di Kota Semarang (Utama dan Prianto, 2023).

Penelitian ini ingin mengkaji kinerja penghawaan alami pada bangunan rumah tinggal iklim tropis lembab. Objek studi kasus pada penelitian ini adalah Rumah Tinggal Heinz Frick Semarang. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas letak dan luas bukaan bangunan terhadap ventilasi silang. Ketika ventilasi silang pada bangunan bekerja dengan baik, maka IEQ dan IAQ akan dapat terwujud.

## TINJUAN PUSTAKA

### **Pergerakan Udara**

Menurut Lechner (2007) dan Boutet (1987), prinsip-prinsip pergerakan udara antara lain:

- Udara mengalir secara alami disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan. Bagian bangunan yang dihantam angin akan memiliki tekanan positif (+). Hal ini akan menciptakan area negatif (-) pada sisi sebaliknya akibat adanya daya hisap.
- Pola aliran udara meliputi *laminar*, *separated*, *turbulent*, dan *eddy*.
- Udara tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, hanya saling berganti dengan setara.
- Efek bernoulli: meningkatnya kecepatan fluida akan menurunkan tekanan aliran.
- Pola aliran udara dapat berubah karena topografi, bangunan, tanaman, dll.

f. Pergerakan udara juga dipengaruhi oleh gaya inersia, friksi, dan diferensial.

Menurut Latifah (2015), parameter pergerakan udara antara lain berkaitan dengan (1) kenyamanan termal; (2) luas bukaan udara; (3) ventilasi silang; (4) laju udara; (5) pergantian udara per jam.

Menurut SNI 03-6572-2001, kecepatan pergerakan udara yang dianjurkan adalah 0,25 m/s. Bergantung pada suhu kering, kecepatan udara diizinkan lebih dari 0,25 m/s. Kecepatan udara 0,25 – 0,5 m/s terasa nyaman dengan gerakan angin sepoi-sepoi. Sedangkan menurut Lippsmeier (1994), standar aliran udara yang nyaman berada pada rentang 0,25 – 1,5 m/s.

### **Penghawaan Alami**

Penghawaan alami merupakan proses penggantian udara yang telah jenuh di dalam ruang dengan udara baru yang lebih segar dari luar bangunan melalui elemen bukaan bangunan dan tanpa bantuan peralatan mekanis lain. Ventilasi alami merupakan cara mendistribusikan udara dari satu sisi bangunan ke sisi yang lainnya demi menjamin ketersediaan udara baru yang sehat bagi penghuni (Hendrawati, 2021). Proses ini harus berjalan menerus demi menciptakan kenyamanan bagi fisiologi manusia (Sudiarta, 2016, dalam Hanggara, dkk., 2021). Fungsi penghawaan alami (Rahmayanti, 2016) antara lain untuk mengontrol kualitas udara, pendinginan fisiologis manusia, serta pendinginan struktur bangunan.

Menurut Hanggara, dkk., (2021), ventilasi alami dapat diterapkan dalam beberapa cara sebagai berikut:

- Single-side ventilation* (ventilasi satu sisi), dianggap kurang efisien karena tidak ada udara yang tertampung di dalam ruang.
- Cross flow ventilation* (ventilasi silang), dapat menciptakan sirkulasi udara dalam ruangan dengan relatif baik karena dapat menampung volume udara yang mengalir ke dalam bangunan.
- Stack ventilation*, menghasilkan pergantian udara karena terdapat perbedaan tekanan (*stack effect*).
- Top-down ventilation*, terjadi pergerakan udara pada bangunan tinggi dari atas permukaan atap ke bagian bawah bangunan.

### **Ventilasi Silang**

Ventilasi silang merupakan teknik pendinginan pasif yang menciptakan perbedaan tekanan antara *inlet* dan *outlet* pada bangunan (Fahmi, dkk., 2017). Ventilasi silang akan bekerja lebih efektif jika *inlet* dan *outlet* terletak berseberangan. *Inlet* sebaiknya diletakkan pada ketinggian manusia beraktivitas, sedangkan *outlet* diletakkan dekat dengan plafon agar udara hangat dan jenuh pada bagian atas dapat dikeluarkan dengan mudah.

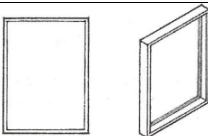
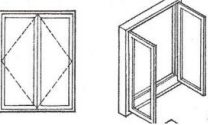
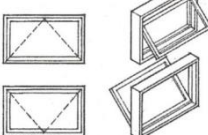
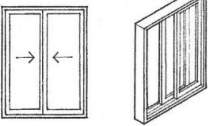
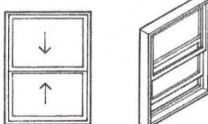
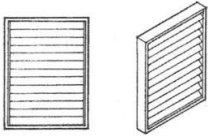
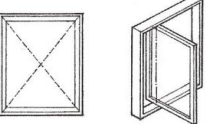
Dimensi bukaan bangunan berbanding lurus dengan perolehan udara yang masuk ke bangunan. Rasio *inlet* dan *outlet* juga memiliki pengaruh dalam aplikasi ventilasi silang. Menurut SNI 03-6572-2001, luas bukaan minimal adalah 5% – 10% dari luas lantai tergantung kelas bangunan. Di sisi lain, Chenari, dkk. (2016) mengemukakan bahwa luas *inlet* dan *outlet*

yang baik adalah 20% dari luas fasad bangunan. Jika tidak memungkinkan memberi luas bukaan yang sama, *inlet* lebih besar akan menyediakan kapasitas udara lebih banyak, sedangkan *inlet* lebih kecil akan memperbesar kecepatan aliran udara yang masuk.

**Tipe Bukaan**

Menurut Ching dan Adams (2008), desain bukaan bangunan berpengaruh terhadap kinerja ventilasi. Macam tipe bukaan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Tipe bukaan

No	Tipe	Efektivitas (%)	Gambar
1	Permanen ( <i>fixed</i> )	0	
2	<i>Casement</i> ( <i>side hung</i> )	100	
3	<i>Awning</i> & <i>hopper</i>	100	
4	Geser	50	
5	Gantung ganda	50	
6	<i>Pivot</i>	100	
7	Jalusi	100	

Sumber: Ching dan Adams (2008)

**METODOLOGI PENELITIAN**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan simulasi komputer. Metode ini dipilih karena memiliki kelebihan dalam hal kemudahan pembacaan dan perubahan variabel, serta modifikasi desain bangunan dalam waktu yang relatif singkat.

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak komputer maupun perangkat lunak berbasis web sesuai fungsinya, antara lain:

1. Autodesk Forma: untuk memperoleh data arah dan kecepatan pergerakan udara di lingkungan sekitar tapak.
2. SketchUp Studio 2022: untuk melakukan pemodelan 3D bangunan.

3. Autodesk CFD 2024: untuk melakukan simulasi pergerakan udara di luar dan dalam bangunan. *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan bagian dari perangkat lunak Computer Aided Engineering (hasil teknis komputer) yang dapat melakukan simulasi gerakan fluida serta transfer panas (Kajima dkk., 2013). CFD dapat menggambarkan sifat gerakan udara untuk kajian ventilasi bangunan dalam arsitektur (Mirzae dan Haghghat, 2010, dalam Amin dan Hendrawati, 2022).

**Sasaran dan Parameter Penelitian**

Sasaran penelitian ini adalah untuk mengetahui dimensi bukaan bangunan yang paling optimal memberikan efek ventilasi alami Rumah Heinz Frick. Parameter penelitian yang diukur adalah kecepatan aliran udara dan persebarannya di dalam ruang melalui visual simulasi CFD sebagai gambaran efek dari desain bukaan bangunan dan pergerakan udara paling dominan di lingkungan.

**Gambaran Umum Lokasi dan Obyek Penelitian**

Lokasi tapak berada di Ngemplak Simongan, Kota Semarang dengan latitude -7.002085230464999, dan longitude 110.3954097463969. berdasarkan data BPS (2021), rata-rata suhu, kelembaban udara, dan kecepatan angin di Kota Semarang secara berurutan adalah 28°C, 82%, dan 5m/s.

Obyek studi kasus terletak di Jl. Srinindito Selatan VII/16 Ngemplak Simongan, Semarang Barat, Kota Semarang. Secara umum, konsep rumah ini dirancang mencoba beradaptasi dengan iklim tropis lembab setempat. Bangunan berada di tengah permukiman padat dengan kondisi tanah berkontur yang memiliki rata-rata kemiringan 17,5% (Utama dan Prianto, 2022).

**Tahap Simulasi Penelitian**

Langkah simulasi penelitian ini dilakukan pada program Autodesk Forma, SketchUp Studio 2022, serta Autodesk CFD 2024. Detail tahap simulasi penelitiannya adalah sebagai berikut:

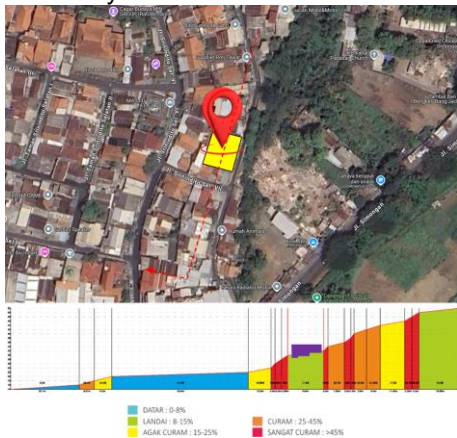
- a. Lakukan studi kondisi lingkungan fisis tapak dengan Autodesk Forma: Masukkan lokasi spesifik Rumah Heinz Frick di Ngemplak Simongan, Kota Semarang. Pilih *Wind Analysis*, jalankan simulasi, kemudian pilih *Direction* untuk melihat profil pola pergerakan udara di sekitar lokasi. Tentukan empat profil pergerakan udara paling dominan.
- b. Buat 3D model bangunan Rumah Heinz Frick menggunakan SketchUp Studio 2022. Ukur dan catat masing-masing dimensi bukaan bangunan.
- c. Lakukan simulasi CFD bangunan menggunakan Autodesk CFD 2024: Atur 3D model bangunan Rumah Heinz Frick sesuai kondisi lapangan, terutama terkait dengan orientasi bangunan. Import model 3D bangunan dari SketchUp Studio 2022 ke Autodesk CFD 2024. Atur *External Volume*, *Resolution Factor*, kemudian *Generate Wrap*. Atur material pada bangunan dan lingkungan. Atur *Boundary Condition* untuk menentukan arah dan kecepatan angin, serta tekanan udara. Kemudian lakukan analisis pergerakan udara.

- d. Ketika simulasi sudah selesai, ambil visual hasil simulasi sesuai dengan kebutuhan, sehingga memperlihatkan gerakan dan distribusi udara ruang dalam bangunan pada level ketinggian manusia beraktivitas.
- e. Lakukan langkah (c) dan (d) untuk arah datang angin dari Barat, Barat Laut, Timur, dan Tenggara.
- f. Lakukan analisis rasio luas bukaan bangunan terhadap luas lantai dan luas fasad bangunan.
- g. Lakukan analisis pergerakan udara di dalam bangunan, khususnya terkait kecepatan dan distribusinya. Bandingkan dengan standar kenyamanan gerakan udara.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Studi Kasus: Rumah Heinz Frick Semarang**

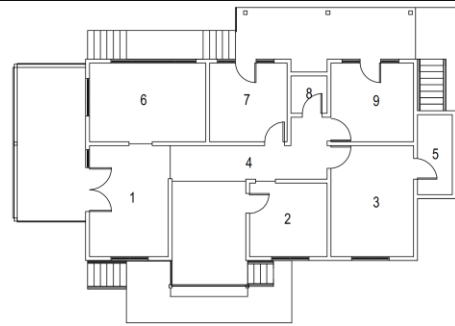
Rumah Heinz Frick berada di Jl. Srinindito Selatan VII/16 Ngemplak Simongan, Semarang Barat, Kota Semarang. Bangunan berada di lahan yang memiliki tingkat keterlereng topografi 11,9% dengan lembah pada sisi timurnya.



**Gambar 1.** Lokasi dan potongan topografi tapak Massa bangunan berbentuk terasering dua lantai dengan atap pelana besar memanjang arah Utara – Selatan. Bangunan memiliki bentuk denah persegi panjang dengan lantai dasar yang lebih kecil sebagai bentuk respon topografi. Penelitian hanya akan fokus pada lantai utama yang memiliki luas lebih dominan, yaitu bagian atas.



**Gambar 2.** 3D model bangunan Rumah Heinz Frick Peletakan ruang pada denah cenderung linier di kedua sisi bangunan yang dipisahkan oleh sebuah lorong pada bagian tengah. Ruang-ruang pada kedua sisi bangunan tersebut dihubungkan oleh bukaan berupa pintu tunggal maupun pintu geser lebar yang juga berfungsi sebagai dinding portabel. Sehingga antar ruang-ruang tersebut dapat dilewati manusia maupun aliran udara.



**Gambar 3.** Tata ruang dalam Rumah Heinz Frick Rumah Heinz Frick memiliki beberapa bukaan yang berjajar pada kedua sisi panjangnya. Jenis dan ukuran bukaan pada bangunan Rumah Heinz Frick dapat dilihat pada Tabel 2. Untuk bukaan berupa jendela, ketinggian ambang bawah semua jendela berada pada level 100cm dari lantai bangunan.

**Tabel 2.** Bukaan Rumah Heinz Frick

No	Tipe (Jumlah)	Sisi	Foto
1	Pintu Tunggal (3)	Barat; R. Dalam	
2	Pintu Ganda (1)	Selatan	
3	Pintu geser (1)	Timur	
4	Jendela Tunggal – Side Hung (5)	Selatan; Barat	
5	Jendela Ganda – Side Hung (4)	Selatan; Timur	
6	Jendela Banyak – Side Hung (1)	Barat	
7	Bouven (2)	Barat; Timur	
8	Roster (79)	Barat; Utara; Timur; Selatan	

**Profil Pergerakan Udara di Lokasi**

Lokasi tapak yang berada di Kelurahan Ngemplak Simongan, Semarang Barat, Kota Semarang dengan topografi lerengan memiliki kecenderungan pergerakan udara yang cukup besar. Terlebih jika melihat kondisi pada sisi Timur dan Selatan tapak yang merupakan lembah dan cekungan sungai.

Pergerakan udara paling dominan pada lokasi tapak berasal dari arah Barat dengan kecepatan maksimum 2,6m/s selama 6 jam dalam sehari (25%). Pergerakan udara dominan ke-2, 3, dan 4 secara berurutan berasal dari arah Barat Laut (1,4m/s; 21%), Tenggara (1,3m/s; 17%), dan Timur (1,1m/s; 14%).



**Gambar 4.** Profil pergerakan udara dominan di lokasi. Profil pergerakan udara di lokasi tapak lebih detail dapat dilihat pada Tabel 2. Simulasi pada penelitian ini hanya fokus pada 4 profil pergerakan udara paling dominan seperti yang telah disebutkan sebelumnya, karena keempat data tersebut sudah menggambarkan arah pergerakan udara di sekitar lokasi tapak selama 18,5 jam (77%) dalam satu hari.

**Tabel 2.** Profil pergerakan udara di lokasi

No	Arah	Kecepatan (m/s)	Frekuensi (%)
1	Utara (0°)	1,2	12
2	Timur Laut (45°)	0,5	5
3	Timur (90°)	1,1	14
4	Tenggara (135°)	1,3	17
5	Selatan (180°)	0,1	2
6	Barat Daya (225°)	0,1	3
7	Barat (270°)	2,6	25
8	Barat Laut (315°)	1,4	21

**Hasil Penelitian: Kinerja Penghawaan Alami**

Dalam penelitian ini akan terdapat tiga kajian analisis data terkait kinerja penghawaan alami Rumah Heinz Frick, yaitu (i) Membandingkan dimensi bukaan terhadap luas fasad sesuai standar; (ii) Analisis kecepatan aliran udara di dalam ruang berdasarkan standar; dan (iii) Profil persebaran aliran udara yang nyaman dalam ruang.

**(i) ANALISIS DIMENSI BUKAAN BANGUNAN**

Berdasarkan SNI 03-6572-2001, luas bukaan minimal adalah 5% – 10% dari luas lantai bangunan. Sedangkan menurut Chenari, dkk. (2016) luas *inlet* dan *outlet* yang baik adalah 20% dari luas fasad bangunan.

Penelitian ini fokus pada lantai utama Rumah Heinz Frick, yang memiliki luas lantai bangunan sebesar 96,5m<sup>2</sup>. Luas fasad lantai utama adalah 177,45m<sup>2</sup>. Berdasarkan Tabel 3, diketahui luas bukaan Rumah Heinz Frick sebesar 30,78m<sup>2</sup>.

**Tabel 3.** Luas bukaan Rumah Heinz Frick

No	Tipe	Jml	Ukuran (m)	Luas (m <sup>2</sup> )
1	Pintu Tunggal	3	0,8 x 2,1	5,04
2	Pintu Ganda	1	1,3 x 2,1	2,73
3	Pintu geser	1	2,85 x 2,1	5,985
4	Jendela Tunggal	5	0,7 x 1,1	3,85
	<i>Side Hung</i>	-		
5	Jendela Ganda	4	1,45 x 1,1	6,38
	<i>Side Hung</i>	-		
6	Jendela Banyak	1	3,3 x 1,1	3,63
	<i>Side Hung</i>	-		
7	Bouven <i>Fixed</i>	2	0,35 x 0,55	0
8	Roster	79	0,2 x 0,2	3,16
<b>Jumlah</b>				<b>30,78</b>

Dari data-data tersebut, dapat diketahui perbandingan luas bukaan terhadap luas lantai adalah 31,9%. Angka ini sudah memenuhi ketentuan SNI 03-6572-2001 yang mensyaratkan luas bukaan minimal 5% - 10% dari luas lantai bangunan. Kemudian rasio luas bukaan terhadap luas fasad adalah 17,35%. Rasio ini belum memenuhi standar luas *inlet* dan *outlet* yang baik menurut Chenari, dkk. (2016) yaitu 20%.

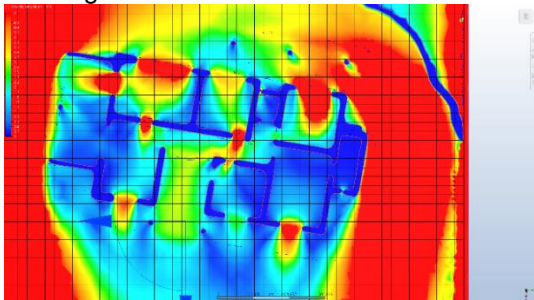
**(ii) ANALISIS KECEPATAN ALIRAN UDARA DALAM RUANG**

Berdasarkan SNI 03-6572-2001, kecepatan pergerakan udara minimal yang dianjurkan adalah 0,25 m/s. Lippsmeier (1994) mengemukakan standar kenyamanan aliran udara adalah dalam rentang 0,25 – 1,5 m/s.

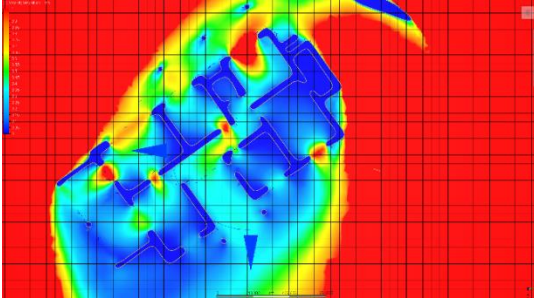
Kondisi bukaan bangunan pada simulasi ini diasumsikan terbuka secara optimal. Pembacaan aliran udara pada simulasi ditetapkan pada tingkat elevasi 1,2m sebagai area aktivitas, yang mewakili ketinggian dada (1m) dan kepala (1,5m) manusia Indonesia.

Pada simulasi pertama, aliran udara bergerak dengan kecepatan 2,6m/s dari arah Barat. Simulasi

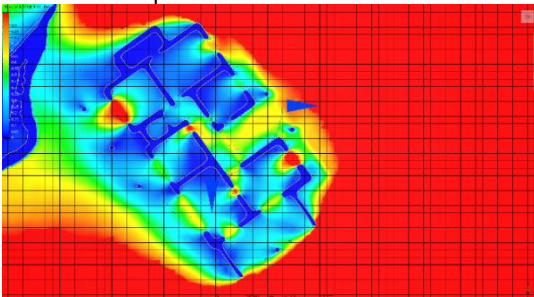
kedua dilakukan dengan aliran udara bergerak dengan kecepatan 1,4m/s dari arah Barat Laut. Simulasi ketiga dilakukan dengan pergerakan udara dari arah Tenggara dengan kecepatan 1,3m/s. Sedangkan simulasi keempat, aliran udara sebesar 1,1m/s bergerak dari arah Timur.



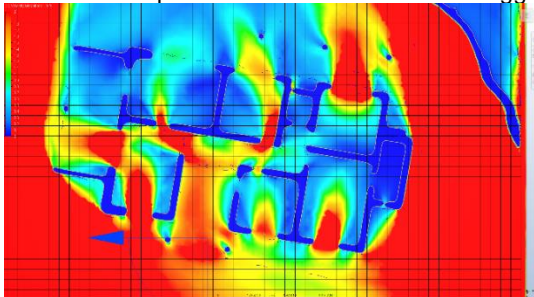
Gambar 5. Kecepatan aliran udara dari arah Barat



Gambar 6. Kecepatan aliran udara dari arah Barat Laut



Gambar 7. Kecepatan aliran udara dari arah Tenggara



Gambar 8. Kecepatan aliran udara dari arah Timur

Kecepatan aliran udara dalam masing-masing ruang pada keempat simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kecepatan aliran udara dalam ruang dari masing-masing arah angin

Ruang	Rentang Kecepatan Aliran Udara (m/s)			
	Arah Barat	Arah Laut	Arah Tenggara	Arah Timur
1	0,2 – 2,0	0 – 0,4	0,1 – 0,6	0,2 – 4,0
2	0 – 1,8	0 – 0,35	0 – 0,35	0,2 – 1,8
3	0 – 1,6	0,1 – 0,4	0,1 – 0,4	0,2 – 4,0
4	1,6 – 3,4	0,35 – 0,7	0,35 – 0,7	0,8 – 4,0

5	0 – 0,1	0 – 0,1	0 – 0,1	0 – 0,1
6	0,6 – 4,0	0 – 0,65	0 – 0,5	0,1 – 1,7
7	0,4 – 3,4	0,1 – 0,4	0 – 0,4	0,2 – 4,0
8	0,1 – 2,0	0 – 0,15	0,1 – 0,2	0,2 – 0,7
9	1,6 – 4,6	0,2 – 1,0	0,2 – 0,8	0,1 – 3,4

Merujuk Tabel 4, dapat diketahui bahwa ruang 1 mendapatkan aliran udara yang konstan pada rentang kecepatan 0,2 – 0,4m/s. Ruang 2 memiliki aliran udara konstan pada rentang 0,2 – 1,8m/s. Ruang 3 dengan kecepatan aliran udara dalam rentang 0,2 – 0,4m/s. Ruang 4 memiliki profil aliran udara dengan rentang kecepatan 0,35 – 0,7m/s. Kecepatan udara ruang 5 berada pada rentang 0 – 0,1m/s.

Selanjutnya ruang 6 mendapatkan aliran udara pada rentang kecepatan 0,5 – 0,6m/s. Ruang 7 dengan kecepatan aliran udara yang konstan dalam rentang 0,2 – 0,4m/s. Ruang 8 memiliki profil aliran udara dengan rentang kecepatan konstan 0,2 – 0,7m/s. Kecepatan udara ruang 9 berada pada rentang 0,8 – 1,6m/s.

Tabel 5. Profil kecepatan aliran udara konstan dalam ruang

Ruang	Rentang Kecepatan Aliran Udara Konstan (m/s)	Keterangan
1	0,2 – 0,4	Memenuhi standar; Kadang batas bawah terlalu rendah
2	0,2 – 1,8	Memenuhi standar; Kadang batas bawah terlalu rendah; Batas atas terlalu tinggi
3	0,2 – 0,4	Memenuhi standar; Kadang batas bawah terlalu rendah
4	0,35 – 0,7	Memenuhi standar nyaman
5	0 – 0,1	Tidak memenuhi standar nyaman
6	0,5 – 0,6	Memenuhi standar nyaman
7	0,2 – 0,4	Memenuhi standar; Kadang batas bawah terlalu rendah
8	0,2 – 0,7	Memenuhi standar; Kadang batas bawah terlalu rendah
9	0,8 – 1,6	Memenuhi standar; Kadang atas terlalu tinggi

Melihat profil aliran udara tersebut, hampir semua ruangan mendapatkan rentang aliran udara konstan sesuai SNI 03-6572-2001 maupun teori yang dikemukakan Lippmeier. Ruang 4 dan 6 merupakan ruang-ruang yang selalu memenuhi standar kecepatan aliran udara yang nyaman. Ruang 1, 3, 7, dan 8 secara umum nyaman, namun terkadang memiliki batas bawah aliran udara di bawah standar, yaitu 0,2m/s. Ruang 2 secara umum nyaman, namun terkadang memiliki batas bawah aliran udara terlalu

rendah (0,2m/s), dan batas atas yang terlalu tinggi (1,8m/s). Ruang 9 secara umum nyaman, namun terkadang memiliki batas atas kecepatan aliran udara yang terlalu tinggi (1,6m/s). Sedangkan ruang 5 merupakan satu-satunya ruang yang tidak pernah memenuhi standar dan teori.

(iii) PROFIL PERSEBARAN ALIRAN UDARA DALAM RUANG

Penelitian Sahabuddin, dkk (2014) menerangkan bahwa persentase luas ruang dalam dapat dinyatakan nyaman dan memenuhi standar ventilasi jika 50% luas ruangan mendapat aliran udara yang nyaman. Menurut SNI 03-6572-2001, kecepatan aliran udara minimum yang nyaman adalah 0,25m/s. Sedangkan Lippsmeier (1994) mengemukakan bahwa kecepatan pergerakan udara yang nyaman berada pada rentang 0,25 – 1,5m/s.

Merujuk pada gambar 5, 6, 7, dan 8, persentase luas ruang dalam Rumah Heinz Frick yang mendapat aliran udara dengan kecepatan minimum 0,25m/s dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Persentase persebaran aliran udara dalam ruang

Ruang	Persentase Luas Ruang Nyaman (%)				Rata-rata (%)
	Arah Barat	Arah Brt Laut	Arah Tenggara	Arah Timur	
1	70,00	60,00	76,00	50,00	64,00
2	80,00	23,33	20,00	73,33	49,17
3	68,09	25,53	25,53	63,83	45,74
4	42,86	96,43	100,00	92,86	83,04
5	25,00	0,00	0,00	0,00	6,25
6	25,00	76,92	65,38	42,31	52,40
7	44,12	73,53	58,82	52,94	57,35
8	71,43	14,29	0,00	14,29	25,00
9	33,33	77,78	66,67	63,89	60,42

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa ruang 1, 4, 6, 7, dan 9 memiliki tingkat kenyamanan pergerakan udara dalam ruang yang relatif baik karena memiliki rata-rata persentase persebaran di atas 50%. Ruang 2 dan 3 memiliki persentase persebaran aliran udara dalam ruang sedikit di bawah 50%. Hal ini terjadi karena kedua ruang tersebut hanya memiliki bukaan berupa jendela ganda (*side hung*) pada sisi timur. Letak pintu pada ruang dalam juga kurang optimal dalam menyalurkan pergerakan udara dari ventilasi silang. Sedangkan ruang 5 dan 8 memiliki hasil yang jauh di bawah 50%, karena keduanya merupakan ruang dengan fungsi MCK dengan luas bukaan yang sangat kecil.



**Grafik 1.** Persentase persebaran aliran udara dalam ruang

**KESIMPULAN**

Kinerja penghawaan alami pada suatu bangunan dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya (1) dimensi dan letak bukaan, serta (2) kecepatan dan arah datang aliran udara dari lingkungan sekitar tapak.

Rumah Heinz Frick memiliki rasio luas bukaan terhadap luas lantai bangunan sebesar 31,9%. Angka ini sudah memenuhi standar minimum yang ditetapkan dalam SNI 03-6572-2001. Di sisi lain, rasio luas bukaan terhadap luas fasad bangunan sebesar 17,35%. Rasio ini masih di bawah angka ideal menurut Chenari, dkk. (2016) yaitu 20%.

Profil kecepatan aliran udara dalam ruang menunjukkan hasil bahwa hampir semua ruangan mendapatkan rentang aliran udara konstan sesuai SNI 03-6572-2001 (minimal 0,25m/s) maupun teori yang dikemukakan Lippsmeier (0,25 – 1,5m/s). Ruang 5 adalah satu-satunya ruang yang tidak memenuhi standar dan teori tersebut.

Jika ditinjau dari persentase persebaran aliran udara yang nyaman dalam ruang, terdapat empat ruang yang berada di bawah persentase minimum (50%), yaitu ruang 2, 3, 5, dan 8.

Dari ketiga analisis tersebut, secara garis besar dapat dilihat bahwa bangunan Rumah Heinz Frick sudah memiliki kinerja penghawaan alami yang relatif baik. Hal ini juga dapat dilihat dari visual hasil simulasi menggunakan CFD pada gambar 5 – 8. Pola aliran udara dapat menyeberang dari satu sisi bangunan ke sisi lainnya.

Walaupun sudah menunjukkan hasil yang relatif baik, Rumah Heinz Frick tetap perlu dilakukan perbaikan pada fasad sisi timur dengan menambah luas bukaan bangunan. Hal ini dilakukan untuk memenuhi rasio luas bukaan terhadap luas fasad yang ideal menurut Chenari, dkk. (2016) yaitu 20%. Selain itu, memperluas bukaan pada sisi ini juga akan meningkatkan kinerja aliran udara pada ruang 2 dan ruang 3.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pengelola Rumah Heinz Frick, karena telah memberi izin pengamatan lapangan, pengukuran lapangan, serta berkenan memberikan data dan informasi untuk kepentingan penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Al horr, Y., Mohammed Arif., Martha Katafygiotou, Ahmed Mazroei, Amit Kaushik, dan Esam Elsarrag. (2016). Impact of Indoor Environmental Quality on Occupant Well-being and Comfort: a Review of the Literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 5 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006>  
diakses dari <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609016300140>

Amin, M.N., dan Dyah Hendrawati. (2022). Evaluasi Performa Bangunan terhadap Air Change per Hour pada Fasilitas Olahraga: Studi Kasus GOR UII). *Seminar Karta & Pameran Arsitektur Indonesia (Sakapari) 2022, Curating the Past to*

- Build Architectural Business*. Diakses dari [https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/43574/PROSIDING%20SAKAPARI%2010\\_38.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/43574/PROSIDING%20SAKAPARI%2010_38.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Boutet, T.S. (1987). *Controlling Air Movement, Manual for Architect and Building*. United State of America: McGraw-Hill.
- Chenari, B., Carrilho, J. D., & da Silva, M. G. (2016). Towards Sustainable, Energy-Efficient And Healthy Ventilation Strategies In Buildings: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1426-1447. Diakses dari <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116001040>
- Ching F. D.K dan Adams C. (2008). *Ilustrasi Konstruksi Gedung, Edisi Ketiga*. (Terjemahan Tim Arsitektur ITB). Jakarta: Penerbit Erlangga. Buku asli diterbitkan tahun 2001.
- Danareksa Research Institute. (2022). *Sektor Konstruksi dan Perumahan di Indonesia, Special Report: Indeks Kepercayaan Konsumen Danareksa dari Masa ke Masa*. Jakarta: Danareksa Research Institute.
- Fahmi, M., Defiana Ima., Antaryama, I Ngurah. (2017). *Cross Ventilation in High-Rise Apartment Building: Effect of Ventilation Shaft Aperture Configuration on Air Velocity and Air Flow Distribution*. Surabaya: Postgraduate Program Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Frick, H., dan Tri Hesti Mulyani. (2006). *Arsitektur Ekologis: Konsep Arsitektur Ekologis di Iklim Tropis, Penghijauan Kota dan Kota Ekologis, serta Energi Terbarukan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Hanggara, A.B., Agus Budi Purnomo, dan Rita Walaretina. (2021). Penerapan Ventilasi Silang pada Ruang Unit Kegiatan Mahasiswa di Gedung Pusgiwa, Universitas Indonesia. *Prosiding Seminar Intelektual Muda #6, Rekayasa Lingkungan Terbangun Berbasis Teknologi Berkelanjutan, 26 Agustus 2021, hal: 153-159, 153-159, ISBN 978-623-91368-4-0, FTSP, Universitas Trisakti*. Diakses dari <https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/sim/article/view/13035/7454>
- Hendrawati, D. (2021). Natural Ventilation Performance for Schools During a Pandemic and the Post-Pandemic COVID 19. *Journal of Architectural Research and Design Studies*, 5(2), 55-62. Diakses dari <https://journal.uui.ac.id/jards/article/view/20433/11751>
- Kajima, Sawako., Roland Bouffanais, dan Karen Willcox. (2013). Computational Fluid Dynamics for Architectural Design. *Proceedings of the 18th International Conference of the Association of Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2013, Hong Kong*. Diakses dari [https://www.researchgate.net/publication/260323010\\_Computational\\_Fluid\\_Dynamics\\_for\\_Architectural\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/260323010_Computational_Fluid_Dynamics_for_Architectural_Design)
- Latifah, Nur Laela. (2015). *Fisika Bangunan 1*. Jakarta: Griya Kreasi (Penebar Swadaya Grup).
- Lechner, N. (2007). *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods for Architecture, Second Edition*. John Wiley & Sons, INC.
- Lippsmeier, G. (1994). *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga.
- Mangunwijaya, Y.B. (2013). *Wastu Citra: Pengantar ke Ilmu Budaya Bentuk Arsitektur Sendi-Sendi Filsafatnya Beserta Contoh-Contoh Praktis (Edisi Baru)*. Cetakan ke-5). Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Rahmayanti. (2016). *Kinerja Penghawaan Alami pada Rumah Adat Balai Padang di Kalimantan Selatan*. Tesis tidak diterbitkan. Surabaya: Program Pascasarjana, Bidang Keahlian Arsitektur Lingkungan, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, dan Ihsan. Pengaliran Udara untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas dengan Metode Simulasi *Computational Fluid Dynamics*. *Sinektika, Vol.14, No.2, 2014*. Diakses dari <https://journals.ums.ac.id/index.php/sinektika/article/view/1438/988>
- Satwiko, Prasasto. (2008). *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- SNI 03-6572-2001 Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung.
- Utama, Hari, dan Eddy Prianto. (2022). Analisis Desain Bioklimatik pada Bangunan Rumah Tinggal Tropis (Studi Kasus: Rumah Heinz Frick Semarang). *Jurnal Arsitektur ARCADE. Vol.6, No.2, Juli 2022*. Diakses dari <https://e-journal.ukri.ac.id/index.php/arcade/article/view/991/437>
- Utama, Hari, dan Eddy Prianto. (2023). Pembayangan Bioklimatik pada Fasad Bangunan (Studi Kasus: Rumah Heinz Frick Semarang). *Jurnal Arsitektur NALARs, Volume 22 No.2 Juli 2023 : 93-102. p-ISSN 1412-3266/e-ISSN 2549-6832*. Diakses dari <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/nalars/article/view/12152/8866>